

EFEITO DOS PARÂMETROS DE EXTRUSÃO NAS CARACTERÍSTICAS DE VISCOSIDADE DE PASTA E ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DE MACARRÕES PRÉ- COZIDOS ELABORADOS A PARTIR DE FARINHA MISTA DE ARROZ INTEGRAL E MILHO OBTIDOS POR EXTRUSÃO

ERIKA MADEIRA MOREIRA DA SILVA*
JOSÉ LUIS RAMIREZ ASCHERI**
DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI***
LUCIA MARIA JAEGER DE CARVALHO****

Foram estudados os efeitos das variáveis umidade, temperatura e formulação nas características de viscosidade de pasta e índice de absorção de água (IAA) em macarrões pré-cozidos, elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho, obtidos por extrusão termoplástica. O delineamento experimental foi elaborado para verificar o efeito de três níveis de substituição de farinha de milho (20, 30 e 40%), três níveis de umidade (30, 35 e 40%) e três temperaturas na zona de alta pressão (70, 80 e 90°C), originando 20 tratamentos. Os resultados obtidos indicaram que a viscosidade inicial a 25°C não foi afetada por nenhuma das variáveis de extrusão. Entretanto, a viscosidade máxima sofreu efeito negativo da umidade e da formulação (% de farinha de milho) e a viscosidade final sofreu efeito negativo de todos os parâmetros estudados. O índice de absorção de água também não foi afetado pelos valores encontrados para as variáveis do delineamento. Portanto, a elaboração de massas pré-cozidas por extrusão requer cuidados para se obter produto íntegro, resistente ao cozimento e com adequado rendimento final.

PALAVRAS-CHAVE: MACARRÃO SEM GLÚTEN; ARROZ INTEGRAL; MILHO; EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA.

- * Nutricionista, Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, RJ (e-mail: erika.madeira@gmail.com).
** Engenheiro de Alimentos, Doutor em Tecnologia de Alimentos, EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, Guaratiba, RJ (e-mail: ascheri@ctaa.embrapa.br).
*** Engenheiro de Alimentos, Doutor em Engenharia de Alimentos, Unidade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás (UEG), Anápolis, GO (e-mail: ascheridpr@gmail.com).
**** Química e Bióloga, Doutora em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ (e-mail: luciajaeger@gmail.com).

1 INTRODUÇÃO

A possibilidade de produzir em nível industrial novos tipos de massas a partir de cereais diferentes do trigo tem despertado interesse de pesquisadores em todo mundo. Não apenas pelo custo da matéria-prima, mas por permitir o uso de outros cereais largamente disponíveis e consumidos pela população como o arroz e o milho (ORMENESE e CHANG, 2002).

Uma das razões para a produção de massas alimentícias não-convencionais, além do fator econômico, seria a possibilidade de consumo por parte dos celíacos.

Os produtos extrusados a base de farinha de arroz polido são boas fontes energéticas, porém deficientes em fibra. Sendo assim, o uso do arroz integral colabora adicionando fibras ao produto extrusado. Com isso, pode-se abreviar o tempo de trânsito intestinal desses produtos, aumentar a velocidade de absorção intestinal da glicose, diminuir os níveis de colesterol sanguíneo e reduzir o conteúdo de calorias ingeridas pela saciedade promovida. Além disso, as fibras são benéficas para a prevenção e o tratamento de diabetes e obesidade (ASCHEI *et al.*, 2006).

O arroz integral, além das fibras, contém vitaminas e minerais em proporções maiores que o arroz polido. Apresenta também cerca de 6,6% de gordura, a qual é benéfica à saúde (FANUT, 2005). Já o milho, alimento essencialmente energético (seus grãos são constituídos basicamente de amido), apresenta apenas traços de minerais e gorduras (SBRT, 2007). Apesar de sua deficiência em alguns aminoácidos, tais como o triptofano e a lisina, o milho contém quantidade relativamente elevada de proteínas (aproximadamente 10%) (PEREIRA *et al.*, 1998). Também contém pigmentos naturais como a criptoxantina e a zeaxantina, que além de serem precursores da vitamina A, atuam como corantes naturais promovendo pigmentação sensorialmente atraente às massas (semelhante às produzidas com ovos).

O parâmetro viscosidade de pasta permite determinar e estudar o grau de cozimento do material extrusado e avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo.

A viscosidade inicial a 25°C, também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas de absorver água em temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso. Já a viscosidade de pasta a 95°C mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico no viscoamilógrafo (CARVALHO, ASCHEI e VIDAL, 2002).

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido. Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham (CARVALHO, ASCHEI e VIDAL, 2002).

O amido nativo não absorve água em temperatura ambiente, entretanto o amido extrusado absorve água rapidamente e forma pasta (temperatura ambiente), a qual é composta por macromoléculas solubilizadas, incluindo partículas intumescidas pela água. Sendo assim, verifica-se relação indireta entre a umidade de processamento e o grau de degradação e/ou conversão do material extrusado (MERCIER e FEILLET, 1975; EL-DASH, GONZALES e CIOL, 1983; GOMEZ e AGUILERA, 1983).

A retrogradação das pastas de amido extrusadas é função do conteúdo de umidade, temperatura e velocidade de rotação do extrusor. Amidos com altos teores de umidade produzem extrusados com alta capacidade de retrogradação, usando-se rotação da rosca moderada. Alterações no índice de absorção e índice de solubilidade em água podem ser interpretadas com base nas interações de amido-água que governam a estrutura da fase sólida no processamento de extrusão do amido (CARVALHO *et al.*, 2002).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito dos parâmetros de extrusão (temperatura de extrusão, umidade do material para extrusão e percentual de milho nas misturas) sobre as propriedades de

pasta e do índice de absorção de água (IAA) em amostras pré-cozidas de macarrão, elaboradas a partir de farinha mista de arroz integral e milho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PREPARO DAS AMOSTRAS

Obteve-se a farinha a partir da moagem de grãos de arroz (*Oryza sativa*, L) integral não-parboilizados, cedidos pela Josapar (RS) e de grãos de milho (*Zea mays*, L), adquiridos no Rio de Janeiro. A moagem foi realizada em moinho de faca e martelo da marca Treu, com abertura da peneira de 1 mm.

As farinhas de arroz integral e milho foram misturadas em diferentes proporções de acordo com o delineamento experimental proposto no item 2.6, previamente estabelecido para este estudo. Foram utilizados na formulação do macarrão, sal refinado (2,0%), emulsificante (1,5%) e água potável.

Para este estudo foram utilizadas duas amostras-controle (comerciais), uma a base de trigo (“controle trigo”) e outra isenta de glúten a base de farinhas de arroz e milho (“controle celíaco”).

2.2 CONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS

Após a mistura da farinha de milho à farinha de arroz integral, de acordo com o delineamento, as amostras foram condicionadas para o percentual de umidade também estabelecido pelo delineamento (30%, 35% e 40%).

Primeiramente determinou-se a umidade das misturas em base seca pelo método 44-16 da AACC (1995), em estufa Brabender a 130°C durante 1 hora, a fim de utilizar o valor de umidade inicial para o cálculo do condicionamento das amostras. As amostras depois de homogeneizadas foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob refrigeração por 3 horas para se obter distribuição e absorção mais uniforme da água.

2.3 EXTRUSÃO

Utilizou-se extrusor da marca BRABENDER (modelo 20DN) de parafuso único, equipado com matriz laminar de 1 mm, parafuso com taxa de compressão de 1:2, taxa de alimentação 2,5 Kg/h, sendo as temperaturas das zonas 1 e 2 mantidas constantes a 50 e 60°C, respectivamente. A temperatura da zona 3 variou de acordo com o delineamento experimental proposto no item 2.6, sendo a velocidade do parafuso mantida constante durante todo o processo (80 rpm). A extrusão das amostras foi iniciada após as zonas de alimentação (zona 1), transição (zona 2) e alta pressão (zona 3) atingirem as temperaturas desejadas. O produto extrusado foi coletado após atingir o equilíbrio do processo e colocado em estufa a 40°C, durante 1 hora, com circulação de ar e umidade relativa interna mais elevada para que não houvesse ruptura do material.

As amostras após atingirem temperatura ambiente foram colocadas em sacos plásticos, fechadas e mantidas em temperatura ambiente para em seguida serem submetidas aos testes de viscosidade de pasta (VP) e Índice de Absorção de Água (IAA). Para essas análises foi necessária a moagem dos macarrões pré-cozidos, obtendo-se assim, a farinha dos extrusados.

2.4 ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA)

O IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de determinada amostra submetida ao tratamento térmico. Para essa análise pesou-se cerca de 1 g de amostra em base seca

de cada tratamento (com granulometria inferior a 60 mesh), em tubos de centrifuga previamente tarados. Foram adicionados 5 mL de água destilada e após homogeneização mais 5 mL (pipeta volumétrica), sendo os tubos colocados em agitador mecânico tipo Vortex que permite a homogeneização completa das amostras. Em seguida, as amostras foram transferidas para agitador horizontal mecânico, marca Eberback 625 do tipo Shaker Bath, por aproximadamente 30 minutos. Logo após, os tubos foram colocados em centrífuga (marca Hermle modelo Z383) durante 15 minutos a 3000 rpm. Após a centrifugação das amostras, os líquidos sobrenadantes foram retirados e o centrifugado retido no fundo dos tubos pesado. Calculou-se o IAA de acordo com a seguinte fórmula, adaptada por HASHIMOTO e GROSSMANN (2003):

$$IAA = \frac{\text{Peso do resíduo centrifugado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} = \text{g gel/g matéria seca} \quad (1)$$

2.5 VISCOSIDADE DE PASTA

A viscosidade de pasta foi determinada em “Rapid Visco Analyser (RVA) da Newport Scientific”, seguindo-se sua metodologia para materiais extrusados. De acordo com BECKER, HILL e MITCHELL (2001), a diferença no tamanho de partículas entre as amostras pode ocasionar má interpretação dos resultados. Portanto, foram utilizadas amostras com partículas entre 125 e 250 µm aproximadamente. As amostras extrusadas e secas foram moídas em moinho de disco e peneiradas em agitador de peneiras RO-TAP, modelo RX-29-10. A fração retida entre as peneiras de 210 e 105 µm foi utilizada para essa análise, em duplicata, para cada tratamento.

Para a análise no RVA, três gramas de farinha extrusada com umidade corrigida para 14% (em base úmida) foi adicionada de água destilada até peso final de 28 g (ASCHERI *et al.*, 2006).

A temperatura inicial de 25°C foi aumentada, gradualmente até 95°C, sendo mantida constante por 3 minutos. O resfriamento foi realizado também gradualmente até a temperatura final de 25°C.

Do perfil de viscosidade foram analisados:

- Viscosidade inicial (VINIC) de pasta a 25°C (“a frio”) = valor máximo de viscosidade da suspensão em centipoise (cP) no início do ciclo de aquecimento. A viscosidade a frio, depende principalmente do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da magnitude da sua quebra molecular durante o processo de extrusão.
- Viscosidade máxima (VMÁX) = valor da viscosidade em cP no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento.
- Viscosidade final (VFIN) a 25°C (ciclo de resfriamento) = os elementos presentes na pasta começam a se associar ou retrogradar, aumentando a viscosidade.

2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para estudar o efeito da temperatura na zona 3 do extrusor, da umidade e da proporção de farinha de milho sobre as propriedades de pasta das amostras pré-cozidas de macarrão, usou-se delineamento central composto com seis repetições no ponto central e seis axiais. As variáveis foram estabelecidas com três níveis codificados -1, 0, +1 (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978). Esse delineamento apresenta seis níveis de variáveis axiais codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor de α é função do número de variáveis independentes, sendo definido pela equação 2:

$$\alpha = (2^k)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = 1,628 \quad (2)$$

O delineamento estatístico requer número mínimo de tratamentos experimentais. Nesse experimento

foram usados 20 tratamentos, sendo oito fatoriais (combinações dos níveis -1 e +1), seis axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e outra no nível 0) e seis centrais, servindo como estimativa do erro experimental para determinar a precisão do modelo matemático (CROCHAN e COX, 1964).

Na Tabela 1 constam os valores codificados e reais do delineamento experimental em estrela para três variáveis independentes e cinco níveis de variação. As respostas (Y) ou variáveis dependentes estudadas foram: VINIC, VMÁX e VFIN, quantificados em cP e IAA, quantificado em g de gel/g de amostra.

Usando a análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de probabilidade, aplicou-se equação de segunda ordem para estabelecer modelo matemático preditivo das variáveis resposta da Tabela 1, cuja equação geral foi (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978):

$$Y = b_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + \xi \quad (3)$$

Em que:

Y é a função resposta genérica; X é a variável decodificada, obtida a partir da variável codificada; b representa os coeficientes estimados pelos métodos dos mínimos quadrados, sendo sua significância avaliada pelo valor da probabilidade (p), adotando-se valor de $p \leq 0,05$ para todos os ensaios; ξ é o erro experimental.

A adequação dos modelos propostos foi avaliada pela análise do resíduo, classificado como “falta de ajuste”, comparando-se a proporção da variação explicada pelo modelo pela análise do coeficiente de determinação R^2 .

Obtido modelo polinomial ajustado às respostas de VMÁX e VFIN, sua otimização foi feita pela técnica proposta para variáveis dependentes (DERRINGER e SUICH, 1980). Essa baseia-se na definição de função de desejabilidade restrita no intervalo de 0,1, adotando-se como limites inferior, médio e superior os valores de 0; 0,5 e 1,0, respectivamente, para a variável VMÁX, e como limites inferior, médio e superior os valores de 1,0; 0,5 e 0, respectivamente, para a variável VFIN. Os cálculos e gráficos foram elaborados utilizando-se o programa Statistica versão 6.0.

Os gráficos de superfície de resposta foram desenhados mediante modelo matemático proposto nos níveis decodificados das variáveis, mantendo-se a resposta em função do eixo Z, com eixos X e Y representando as variáveis independentes, ao mesmo tempo que se manteve as demais variáveis constantes no ponto central (correspondente ao nível codificado 0,0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão os resultados encontrados para as variáveis independentes IAA, VINIC, VMÁX e VFIN.

3.1 ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (g GEL/ MATÉRIA SECA)

A capacidade de absorção de água do material amiláceo cru eleva-se normalmente a partir do momento em que se aplica calor durante o processamento. Logo após o processo, o material extrusado é encaminhado para estufa e parte da água que estava ligada ao amido se evapora. O amido absorve apenas 30% do seu volume em água em temperatura ambiente e sem tratamento térmico. Essa capacidade de absorção é radicalmente elevada conforme a temperatura do sistema aumenta até a temperatura de gelatinização do amido em questão. A partir de então ocorre “quebra” na estrutura amilácea, fazendo com que esse índice de absorção diminua.

O IAA irá indicar a integridade dos grânulos de amido, ou seja, reflete também a severidade do

tratamento térmico aplicado e até que ponto esse manteve a estrutura amilácea capaz de absorver água em temperatura ambiente. Para massas, em especial as pré-cozidas, esse índice assume grande importância, pois reflete a capacidade de aumento de peso do produto e conseqüentemente seu rendimento.

TABELA 1 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS NA CARACTERIZAÇÃO DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS

Tratamentos	Variáveis codificadas			Variáveis reais			IAA	VINI C	VMÁX	VFIN
	x ₁	x ₂	x ₃	X ₁	X ₂	X ₃				
1	-1	-1	-1	70	30	20	5,05	30	654,5	1899,5
2	1	-1	-1	90	30	20	4,71	22	617	1407
3	-1	1	-1	70	40	20	5,32	26	392	1514
4	1	1	-1	90	40	20	3,90	17	394	1103
5	-1	-1	1	70	30	40	5,87	33	651	1666
6	1	-1	1	90	30	40	5,21	29	598	1330
7	-1	1	1	70	40	40	4,38	29	358	1418
8	1	1	1	90	40	40	4,43	16	284	906
9	0	0	0	80	35	30	4,01	7	403	1339
10	0	0	0	80	35	30	4,06	16	425	1223
11	0	0	0	80	35	30	5,55	28	467	1486
12	0	0	0	80	35	30	5,49	28	512	1487
13	0	0	0	80	35	30	5,31	33	487	1332
14	0	0	0	80	35	30	4,09	54	438	1508
15	- 1,682	0	0	63,18	35	30	4,08	25	409	1557
16	1,682	0	0	96,82	35	30	6,18	81	309	540
17	0	-1,682	0	80	26,59	30	5,62	49	646	1542
18	0	1,682	0	80	43,41	30	3,25	28	397	1183
19	0	0	-1,682	80	35	13,18	5,40	56	550	1800
20	0	0	1,682	80	35	46,82	5,34	40	395	1365
Controle Trigo*	-	-	-	-	-	-	2,06	2,2	93,9	211,4
Controle Celiaco**	-	-	-	-	-	-	3,13	2,5	98,6	293,2

x₁, X₁ = Temperatura (°C); x₂, X₂ = Umidade do processamento (%); x₃, X₃ = Farinha de milho (%).

IAA = Índice de Absorção de Água (g gel/g matéria seca).

VINIC, VMÁX e VFIN = Viscosidades Inicial a 25°C, máxima e final em cP.

* massa comercial a base de farinha de trigo.

** massa comercial isenta de glúten a base de farinha de arroz polido e farinha de milho.

Alguns fatores podem afetar os valores de IAA. Além da temperatura, a taxa de cisalhamento também pode provocar ruptura da estrutura amilácea e diminuir os valores de IAA (HAGENIMANA, DING e FANG, 2006). A retrogradação, que pode ocorrer durante a estocagem do macarrão, deixa menor quantidade de amido disponível para absorver água.

A vantagem a ser considerada em relação às massas pré-cozidas envolve a pré-gelatinização do amido no processo de secagem, que não ocorre na produção de macarrão tipo massa fresca (CRUZ e SOARES, 2004). Essa pré-gelatinização do amido permite que as massas absorvam mais água, quando em contato, devido a facilidade de interação principalmente na formação de pontes de hidrogênio.

O IAA neste estudo tende a ser maior do que o índice de solubilidade em água (ISA) devido às condições de processamento de “pellets” em que se utiliza temperaturas mais baixas (até 90°C), menor rotação do parafuso e maior umidade. Além disso, o índice de absorção tende a ser maior em massas que não sofreram pré-gelatinização (pré-cozidas), como as massas controle (trigo e celíaco). Os índices de absorção das massas pré-cozidas apresentaram variação de 3,25 a 6,18 g/g gel, sendo superiores a 2,06 e 3,13 g/g gel obtidos para as massas comerciais (controle trigo e controle celíaco).

Apesar das variáveis independentes do processo de extrusão não apresentarem significância quanto ao índice de absorção de água ($p > 0,05$), o maior valor de absorção foi de 6,18 g gel/ g matéria seca para o tratamento com maior temperatura de processamento no delineamento (96,8°C) e umidade no ponto central (35%). Em contrapartida, o menor valor de absorção foi apresentado pelo tratamento com maior umidade (43,4%) e temperatura mantida no ponto central (80°C).

Os melhores tratamentos conforme o delineamento experimental, T5 e T19, apresentaram um dos maiores valores de IAA (5,87 e 5,40 g gel/g matéria seca, respectivamente) e estão relacionados com o aumento de peso durante o cozimento. Esse índice serviu como importante parâmetro para a escolha dos melhores tratamentos.

3.2 VISCOSIDADE INICIAL A 25°C

A análise de variância para a variável resposta viscosidade inicial a 25°C encontra-se na Tabela 2. Nota-se que os efeitos linear e quadrático das variáveis temperatura, umidade e percentagem de farinha de milho não foram significativos ($p > 0,05$) e que não contribuíram para a variação dos valores de viscosidade inicial a 25°C. O valor do coeficiente de regressão ($R^2 = 0,166$) indicou que o modelo matemático aplicado não se ajusta aos dados experimentais, embora a análise de variância tenha mostrado a não-significância da falta de ajuste.

Embora a temperatura e a umidade afetem a viscosidade a frio, neste estudo nenhuma dessas variáveis influenciou os valores de viscosidade inicial a 25°C nas amostras de macarrão pré-cozido. Nota-se que os valores de viscosidade inicial a 25°C para os tratamentos escolhidos, T5 e T19, foram maiores que os encontrados por BORGES (2002) para farinha integral de quinoa e farinha de arroz polido. Esses tratamentos apresentaram 33 e 56,5 cP, respectivamente, em comparação a 28,08 e 11,04 cP encontrados por Borges para seus melhores tratamentos. Porém os valores mínimo e máximo de todos os tratamentos (T9 = 7 cP e T16 = 81 cP) foram semelhantes aos obtidos por BORGES (2002).

O pequeno valor da viscosidade inicial da amostra T9 pode ser explicado pelas condições aplicadas antes e durante o processo de extrusão, tais como temperatura mais branda (80°C), menor rotação do parafuso (causando menor cisalhamento) e umidade relativamente elevada (35%). Por outro lado, o maior valor de viscosidade inicial da amostra T16 pode ser explicado pelo aumento da temperatura (96°C) e umidade relativamente alta (35%), favorecendo maior proporção de grânulos de amido gelatinizados. MERCIER e FEILLET (1975) demonstraram a existência de relação entre a umidade e o grau de degradação do amido de milho extrusado. Foi observado aumento na viscosidade inicial com o incremento dos valores de umidade de até 28,5%.

Tanto a umidade quanto a temperatura são fatores competitivos nos graus de transformação do material amiláceo. Assim, quando são postos juntos torna-se difícil indicar qual deles foi o maior responsável pela mudança.

TABELA 2 - TESTE F DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA APLICADA AO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E VISCOSIDADE INICIAL A 25°C (VINIC) DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS

Fator	Teste F		p		Coeficiente de Regressão		Estimativa dos Efeitos	
	IAA	VINIC	IAA	VINIC	IAA	VINIC	IAA	VINIC
Intercepto	--	--	--	--	4,8	28,5	15,2	28,5
X ₁	0,2	1,0	0,699 ^{n.s.}	0,364 ^{n.s.}	0,1	4,3	0,4	8,7
X ₁ ²	0,3	1,0	0,626 ^{n.s.}	0,368 ^{n.s.}	0,1	4,2	0,5	8,3
X ₂	5,7	1,0	0,062 ^{n.s.}	0,355 ^{n.s.}	-0,5	-4,4	-2,4	-8,8
X ₂ ²	0,5	0,0	0,522 ^{n.s.}	0,862 ^{n.s.}	-0,1	-0,8	-0,7	-1,5
X ₃	0,1	0,1	0,784 ^{n.s.}	0,801 ^{n.s.}	0,1	-1,2	0,3	-2,3
X ₃ ²	0,9	0,3	0,390 ^{n.s.}	0,580 ^{n.s.}	0,2	2,5	0,9	5,0
X ₁ .X ₂	0,0	0,1	0,881 ^{n.s.}	0,818 ^{n.s.}	0,0	-1,4	-0,2	-2,8
X ₁ .X ₃	0,3	0,0	0,620 ^{n.s.}	1,000 ^{n.s.}	0,1	0,0	0,5	0,0
X ₂ .X ₃	0,6	0,0	0,462 ^{n.s.}	0,867 ^{n.s.}	-0,2	-1,0	-0,8	-2,0
Falta de ajuste	1,3	2,5	0,400 ^{n.s.}	0,165 ^{n.s.}	--	--	--	--
R²_{IAA} = 0,434				R²_{VI 25} = 0,166				

X₁ = Temperatura (°C); X₂ = Umidade (%); X₃ = Farinha de milho (%).
n.s. = Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade.
-- = não-determinado.
p = valor estatístico da probabilidade.

Teores de umidade mais elevados (30 a 40%), provavelmente exercem efeito lubrificante no material durante a extrusão, impedindo a alta degradação do amido. Deve-se ainda considerar que valores muito baixos de viscosidade inicial de materiais extrusados podem ser explicados pelo conteúdo protéico e pela presença de fibras, como é o caso da farinha de arroz integral. Sendo assim, altas viscosidades são típicas de produto gelatinizado enquanto baixas viscosidades com umidade menor indicam quebra de polímero.

3.3 VISCOSIDADE MÁXIMA E FINAL DE PASTA

A viscosidade máxima, ou viscosidade a quente, indica as possibilidades de utilização da farinha extrusada. Torna-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que é necessário conservar a viscosidade em temperaturas acima da ambiente (TORRES *et al.*, 2005).

O aumento da viscosidade com a elevação da temperatura no ciclo de aquecimento ocorre pela perda parcial das pontes de hidrogênio que unem as frações presentes no amido. Isso origina sítios hidrofílicos que se ligam a moléculas de água, aumentando a solubilidade do amido e a viscosidade a quente (ASCHEI *et al.*, 2006).

De acordo com o teste F (Tabela 3) para a variável resposta viscosidade máxima nota-se que o intercepto foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, indicando que o ponto central foi escolhido corretamente nesse caso.

O coeficiente de determinação expressou valor elevado ($R^2 = 0,881$), explicando mais de 88% da variação total da variável resposta em torno da média e menos de 12% atribuídos aos resíduos, indicando que o modelo ajustou-se adequadamente aos dados experimentais.

Com relação às variáveis independentes estudadas pode-se perceber que houve contribuição da umidade linear e quadrática e da formulação (% de farinha de milho) linear nos valores de viscosidade máxima ($p < 0,05$). A contribuição dos efeitos lineares foi negativa, indicando que quando as porcentagens de umidade e de farinha de milho aumentaram o valor de viscosidade máxima diminuiu, entretanto, o efeito quadrático da umidade contribuiu para o aumento positivo dessa variável dependente. Por outro lado, a temperatura e as interações entre as variáveis independentes não afetaram a variação da viscosidade máxima ($p > 0,05$).

TABELA 3 - TESTE F DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA APLICADA A VISCOSIDADE MÁXIMA (cP) DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS

Fator	Teste F	p	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos Efeitos
Intercepto	--	>0,001 *	454,2	454,2
X ₁	4,8	0,079 n.s.	-24,2	-48,5
X ₁ ²	5,4	0,067 n.s.	-25,0	-50,1
X ₂	100,1	>0,001 *	-110,5	-221,0
X ₂ ²	9,1	0,029 *	32,4	64,8
X ₃	8,0	0,037 *	-31,3	-62,5
X ₃ ²	2,0	0,219 n.s.	15,1	30,2
X ₁ X ₂	0,0	0,876 n.s.	2,4	4,8
X ₁ X ₃	0,6	0,466 n.s.	-11,4	-22,8
X ₂ X ₃	1,1	0,339 n.s.	-15,3	-30,5
Falta de ajuste	2,6	0,159 n.s.	--	--
$R^2 = 0,881$				

X₁ = Temperatura (°C); X₂ = Umidade (%); X₃ = Farinha de milho (%).

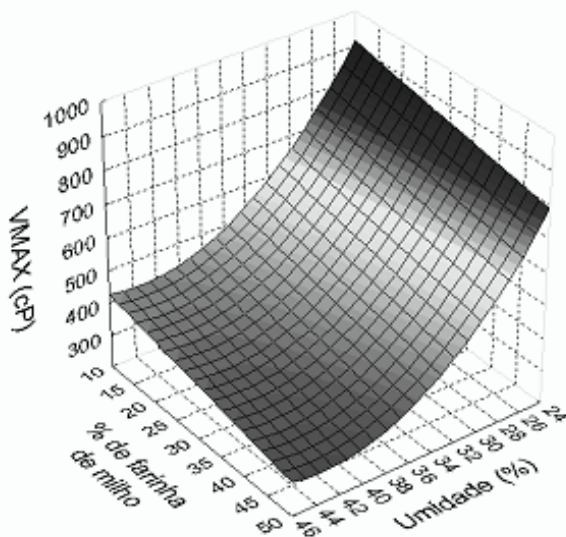
n.s. = Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

p = Valor estatístico da probabilidade.

A superfície de resposta da Figura 1 representa o efeito das variáveis das porcentagens de umidade e de farinha de milho na viscosidade máxima e foi desenhada com os coeficientes significativos do modelo de regressão quadrática da Tabela 3.

FIGURA 1 - EFEITO DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS FARINHA DE MILHO (%) E UMIDADE (%) NA VISCOSIDADE MÁXIMA (cP) DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS



Nas condições experimentais do presente estudo, a umidade exerceu grande influência na viscosidade de pasta. O maior valor de viscosidade máxima (654,5 cP) foi verificado no tratamento que apresentou menor temperatura de processamento (70°C), menor umidade (30%) e menor percentual de farinha de milho (20%). Ao contrário, o menor valor de viscosidade máxima (284,5cP) foi constatado no tratamento que apresentou maior temperatura de processamento (90°C), maior umidade (40%) e maior percentual de farinha de milho (40%). Assim, verificou-se relação inversamente proporcional entre as variáveis de extrusão e viscosidade máxima.

Para os melhores tratamentos selecionados para este estudo (T5 e T19) nota-se que o valor de viscosidade máxima aumentou com a redução da umidade e o aumento do % de farinha de milho (Tabela 1).

Os resultados de viscosidade máxima nas amostras comerciais (trigo e celíaco, Tabela 1) foram muito menores (93,9 e 98,6 cP, respectivamente) que os das amostras pré-cozidas. Esses valores reduzidos se devem provavelmente ao fato de tratar-se de amostras que não sofreram nenhum tipo de tratamento térmico. Não houve gelatinização dos grânulos de amido, ocorrendo apenas o processo de gelatinização provocado durante a análise no determinador de viscosidade (RVA).

A viscosidade está relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Maior valor da viscosidade máxima a 95°C indica tratamento menos severo e umidade mais elevada, portanto, mantendo intactos maior percentual de grânulos de amido. Esse fenômeno, de suma importância para massas, evidencia maior capacidade de absorção de água.

TORRES *et al.* (2005) avaliando a influência da umidade e temperatura na viscosidade de pasta de extrusados, contendo farinha de banana verde, concordaram que altas umidades e baixas temperaturas são indicativas de tratamento térmico menos severo e fornecem as maiores viscosidades máximas a 95°C. Por outro lado, SILVA *et al.* (2004) observaram que a degradação dos grânulos de amido aumenta em baixa umidade, pois o atrito mecânico no parafuso é maior. Isto se reflete em menores condições de intumescimento dos grânulos, diminuindo a viscosidade. Da mesma forma, o atrito mecânico diminuiu com a alta umidade havendo menor destruição dos grânulos.

A viscosidade final, avaliada durante o ciclo de resfriamento, está relacionada com a retrogradação do amido.

O amido é constituído por duas frações: amilose e amilopectina. Quando soluções amiláceas são resfriadas ocorre formação de géis ou precipitados microcristalinos, dependendo da concentração das soluções e velocidade de resfriamento. Soluções concentradas e resfriadas rapidamente tendem a formar géis. Já soluções mais diluídas precipitam em razão da tendência para formação de ligações intermoleculares da fração amilose, o que não acontece com a amilopectina devido às ramificações presentes na molécula. Esse reagrupamento entre as frações amilose e amilopectina, conhecido como retrogradação, confere aumento na viscosidade final na maioria dos casos (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

Segundo a Tabela 4 houve contribuição das variáveis linear e quadrática da temperatura, do percentual de farinha de milho e da variável linear de umidade na viscosidade final ($p < 0,05$). As interações dessas variáveis independentes não foram significativas ($p > 0,05$), entretanto, o intercepto foi significativo ($p < 0,05$), demonstrando adequada escolha do ponto central.

O coeficiente de determinação apresentou valor elevado ($R^2 = 0,919$), explicando aproximadamente 92% da variação total da variável resposta em torno da média e 8% atribuídos aos resíduos, justificando o ajuste do modelo aos dados experimentais.

Os gráficos tridimensionais de superfície de resposta (Figuras 2 e 3) demonstram o efeito das variáveis que contribuíram para os valores da viscosidade final.

Conforme se aumentou a temperatura e a umidade, os valores de viscosidade final diminuíram. Isso pode ser verificado de acordo com o valor máximo de viscosidade final apresentado na Tabela 1 (1899,5 cP) pela amostra submetida a menor temperatura (70°C) e menor umidade (30%) no delineamento. Em contrapartida, o menor valor de viscosidade final apresentado na Tabela 1 (540,5cP) está relacionado com amostra submetida a temperatura maior (96°C) e maior umidade (35%).

Observa-se na Tabela 1 que nos melhores tratamentos (T5 e T19), os valores de viscosidade final aumentaram quando se elevou os valores de umidade e temperatura.

TABELA 4 - TESTE F DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA APLICADA A VISCOSIDADE FINAL (cP) DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS

Fator	Teste F	p	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos Efeitos
Intercepto	--	>0,001 *	1393,3	1393,3
X ₁	66,2	>0,001 *	-253,3	-506,6
X ₁ ²	12,3	0,018 *	-106,2	-212,5
X ₂	21,4	0,006 *	-143,9	-287,9
X ₂ ²	0,0	0,879 n.s.	4,9	9,7
X ₃	9,9	0,026 *	-97,7	-195,5
X ₃ ²	7,4	0,042 *	82,5	165,0
X ₁ .X ₂	0,1	0,782 n.s.	-11,9	-23,8
X ₁ .X ₃	0,0	0,872 n.s.	6,9	13,8
X ₂ .X ₃	0,0	0,960 n.s.	2,1	4,3
Falta de ajuste	1,1	0,454 n.s.	--	--
R ² : 0,918				

X₁ = Temperatura (°C); X₂ = Umidade (%); X₃ = Farinha de milho (%).

n.s. = Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

p = Valor estatístico da probabilidade.

Na Figura 3 observa-se o efeito das variáveis % de farinha de milho e umidade na variável resposta. De acordo com os efeitos negativos, essa contribuição foi inversamente proporcional tendo os valores de viscosidade final diminuído quando se aumentou o percentual de farinha de milho e a umidade.

CARVALHO, ASCHERI e VIDAL (2002) estudaram a extrusão da mistura de farinha de arroz, banana e trigo, com teores de umidade variando entre 30 e 40%. Relataram que a tendência a retrogradação diminuiu com a redução da umidade.

A Figura 4 representa o efeito das variáveis % de farinha de milho e temperatura na variável resposta.

Os efeitos negativos indicam que essa contribuição também foi inversamente proporcional, pois aumentando os valores de % de farinha de milho e a temperatura são obtidos valores menores de viscosidade final.

Menores valores de viscosidade final podem ser obtidos em tratamentos mais severos (com menor umidade e maior temperatura, por exemplo), causando a degradação do amido e conseqüentemente a perda da capacidade de retrogradação. Deve-se considerar que a adição de emulsificantes às massas também pode reduzir os valores de viscosidade final, uma vez que esses aditivos envolvem as cadeias de amilose e dificultam a retrogradação. Esse mesmo fenômeno foi citado por CARVALHO, ASCHERI e VIDAL (2002).

Em muitos tratamentos ocorreu aumento da viscosidade final com a redução do percentual de farinha de milho. Alguns fatores importantes podem ser considerados para explicar tal fato. Vale destacar que a composição da farinha de arroz integral difere da farinha de milho, contendo maior quantidade de lipídios, fibras e proteínas. Além disso, há diferença entre as proporções de amilose e amilopectina entre esses grãos. Observações práticas mostram que a farinha de milho requer tempo menor de gelatinização do que a farinha de arroz. Com isso, a gelatinização e a ruptura das estruturas do amido ocorrem em menor tempo havendo redução nos valores de viscosidade final.

FIGURA 2 - EFEITO DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS UMIDADE (%) E TEMPERATURA (°C) NA VISCOSIDADE FINAL (cP) DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS A BASE DE FARINHA MISTA DE ARROZ INTEGRAL E MILHO

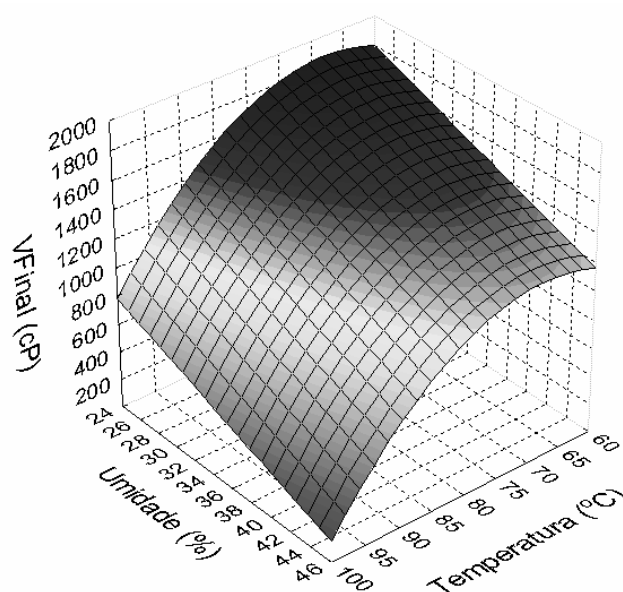


FIGURA 3 - EFEITO DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS FARINHA DE MILHO (%) E UMIDADE (%) NA VISCOSIDADE FINAL (cP) DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS A BASE DE FARINHA MISTA DE ARROZ INTEGRAL E MILHO

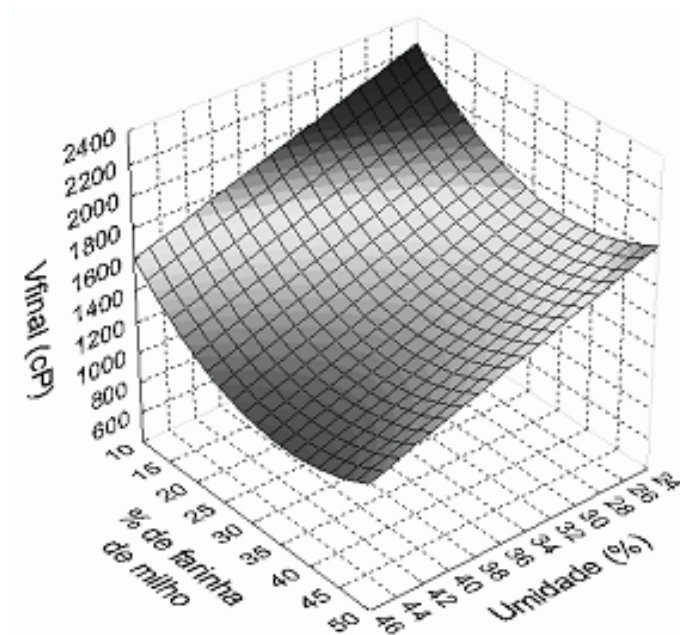
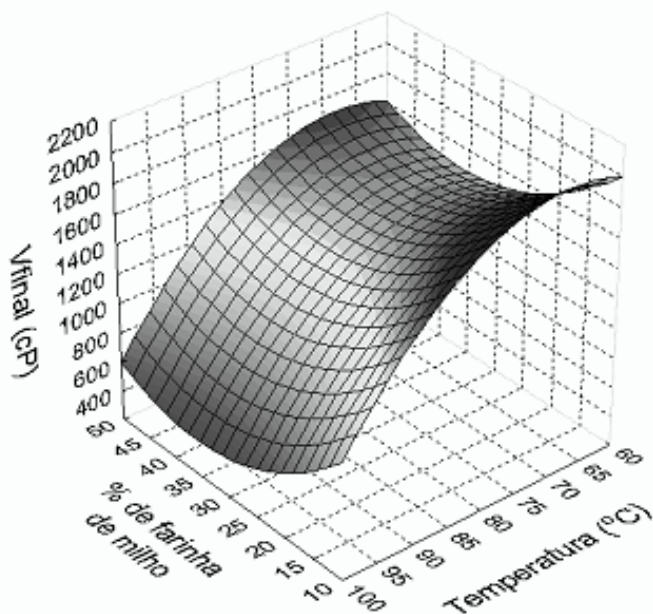


FIGURA 4 - EFEITO DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS FARINHA DE MILHO (%) E TEMPERATURA (°C) NA VISCOSIDADE FINAL (cP) DOS MACARRÕES PRÉ-COZIDOS A BASE DE FARINHA MISTA DE ARROZ INTEGRAL E MILHO



ASCHERI *et al.* (2006), analisando as características de viscosidade de pasta em farinhas mistas extrusadas de bagaço de jabuticaba e arroz polido, detectaram efeito negativo entre a formulação

e a viscosidade final. Assim, o maior percentual de farinha de bagaço de jabuticaba correspondeu o menor valor de viscosidade final. O contrário ocorreu com a temperatura, que apresentou efeito positivo sobre a viscosidade final.

O valor da função de desejabilidade restrita calculado foi de 0,786 quando os valores da VMÁX e da VFIN atingiram 608,63 e 940,16 cP, respectivamente, com as variáveis independentes temperatura, umidade e porcentagem de milho de 96,82°C, 26,59% e 32,24%, respectivamente. Tais valores otimizam o processo de elaboração de macarrões pré-cozidos a partir de farinha mista de arroz integral e milho por extrusão. Obteve-se, nas condições de otimização, produto final com viscosidade máxima elevada e intermediária capacidade de retrogradação em relação aos valores experimentais.

4 CONCLUSÃO

A produção de macarrões pré-cozidos por extrusão com condições diferenciadas de temperatura, umidade de processamento e misturas de farinhas de arroz integral e milho gera macarrões com diferentes graus de cozimento e texturas. Tais parâmetros exerceram influência no produto final, contribuindo para as características singulares de massas obtidas por extrusão termoplástica. Além disso, a matéria-prima isenta de glúten precisa de tratamento térmico tal que aglutine seus componentes para evitar a perda de sólidos durante seu cozimento. A umidade de processamento das misturas de arroz integral e milho mostrou-se altamente significativa na obtenção de produto de boa qualidade, seguida pela temperatura. O comportamento das viscosidades de pasta máxima e final entre os tratamentos foi significativo, possibilitando identificar diferentes características de cozimento entre os macarrões. Pode-se concluir também que o índice de absorção de água está relacionado com o aumento de peso das massas, embora não tenha sido significativo no presente estudo.

ABSTRACT

EFFECT OF EXTRUSION PARAMETERS IN THE CHARACTERISTICS OF PASTA VISCOSITY AND WATER ABSORPTION INDEX OF PRE COOKED PASTA PREPARED BY MIXED FLOUR OF BROWN RICE AND MAIZE OBTAINED BY EXTRUSION COOKING

The effect of the variables moisture, temperature and formulation was studied in the characteristics of paste viscosity and water absorption index (WAI) in pre cooked pastas made from mixed flour of brown rice and maize, by extrusion cooking. The experimental design was elaborated to verify the effect of three substitutions levels of maize flour (20, 30 and 40%), three levels of moisture (30, 35 and 40%) and three temperatures on the high pressure zone (70, 80 and 90°C), resulting in 20 treatments. The results showed that the initial viscosity at 25°C was not affected by any extrusion variables. Although, the maximum viscosity was negatively affected by moisture and formulation (% of maize flour), and the final viscosity also was negatively affected by all studied parameters. The water absorption index, as the initial viscosity, was not affected by the values of the variables. Therefore, the production of pre cooked pasta by extrusion cooking requires cares necessary to get a complete, resistant product and with a good final yield.

KEY-WORDS: GLUTEN FREE PASTA; BROWN RICE; MAIZE; THERMOPLASTIC EXTRUSION.

REFERÊNCIAS

- 1 AACC. American Association Of Cereal Chemists **Approved methods of American Association of Cereal Chemists**. 9th ed. St. Paul, 1995.
- 2 ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas

- propriedades de pasta. **B. do CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p. 115-144, jan/jun, 2006.
- 3 BECKER, A.; HILL, S.E.; MITCHELL, J.R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyser (rva) profile. **Cereal Chemistry**, v. 78, p. 166-172, 2001.
 - 4 BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. São Paulo:Livraria Varela, 2003. 238 p.
 - 5 BORGES, J.T.S. **Elaboração de macarrão pré-cozido base de farinha integral de quinoa e farinha de arroz utilizando o processo de extrusão termoplástica**. Rio de Janeiro, 2002. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
 - 6 BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building**. New York: John Wiley & Sons, 1978.
 - 7 CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.L.R.; VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.
 - 8 COCHRAN, B. Y.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2nd ed. New York: John Willey, 1964.
 - 9 CRUZ, R.S.; SOARES, N.F.F. Efeito da adição de CO₂ nas características tecnológica e sensorial do macarrão massa fresca tipo talharim. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v.28, n.4, p.848-855, 2004.
 - 10 DERRINGER G. C.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several responses variables. **Journal Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.
 - 11 EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface in the control of thermoplastic extrusion of starch. **Journal of Food Engineering**, Radnor, v. 2, p. 129-152, 1983.
 - 12 FANUTI. Faculdade de Nutrição de Goiás. **Boletim mensal**. Disponível em: <<http://www.fanut.ufg.br>>. Acesso em: 8 de junho de 2005.
 - 13 GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n.2, p. 378-381, 1983.
 - 14 HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Journal of Cereal Science**, n.43, p. 38-46, 2006.
 - 15 HASHIMOTO, J.M.; GROSSMANN, M.V. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, p. 511-517, 2003.
 - 16 MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 52, n. 3, p. 283-297, 1975.
 - 17 ORMENESE, R.C.; CHANG, Y.K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **B. do CEPPA**, Curitiba, v.20, n.2, p.175-190, 2002.
 - 18 PEREIRA, M.V.L.; BOAVENTURA, G.T.; ASCHERI, J.L.R.; CORREIA, B.F.; OLIVEIRA, P.C. Avaliação biológica da farinha de milho QPM obtida por extrusão. **Revista do Centro de Ciências Médicas**, v.2, n.2, p. 42-48, 1998.
 - 19 SILVA, M.C.; THIRÉ, R.M.S.M.; PITA, V.J.R.R.; CARVALHO, C.W.P.; ANDRADE, C.T. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.2, p. 303-310, 2004.
 - 20 SBRT. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas. **Alimentos e bebidas**. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt1128.pdf>>. Acesso em 03 de março de 2007.
 - 21 TORRES, L.L.G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **B. do CEPPA**, Curitiba, v.23, n.2, p. 273-290, 2005.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Arthur Bernardes (Funarbe), através dos programas de biofortificação HarvestPlus e Agrosalud, pelo auxílio financeiro e a Embrapa Agroindústria de Alimentos pela realização dos trabalhos experimentais.